



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

REC'D 26 MAR 2004

WIPO PCT

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

03006697.1

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

BEST AVAILABLE COPY



Anmeldung Nr:
Application no.: 03006697.1
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 26.03.03
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

LASAG AG
C.F.L.,
Lohnerstrasse 24
CH-3602 Thun
SUISSE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

dispositif laser pour percer des trous dans des composants d'un dispositif
d'injection d'un fluide

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

B23K26/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LU MC NL
PT SE SI SK TR LI

Cas 2229

GS/ca

**DISPOSITIF LASER POUR PERCER DES TROUS DANS DES
COMPOSANTS D'UN DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUIDE**

La présente invention concerne un dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, en particulier d'un carburant dans un moteur à combustion. Par moteur à combustion, on comprend tout type de moteur ou de réacteur dans lequel un carburant est fourni directement ou indirectement à au moins une chambre de combustion par l'intermédiaire d'un dispositif d'injection. Par composant d'un dispositif d'injection, on comprend notamment des buses d'injection, des régulateurs de débit ou encore des filtres.

Actuellement, on connaît diverses méthodes pour percer des trous dans les composants susmentionnés, notamment l'utilisation de certains dispositifs laser. Par exemple, on a déjà proposé l'utilisation de lasers à milieu actif solide pompés par diode laser (DPSSL) et agencés avec des moyens de variation du facteur de qualité Q du résonateur (Q-switch). De tels lasers engendrent une pluralité d'impulsions dont la très courte période est généralement bien inférieure à 1 μ s, par exemple 15 nanosecondes.

Un dispositif laser du type mentionné ci-dessus a été déjà réalisé par diverses sociétés. L'utilisation d'un tel laser à cristal pompé par des diodes laser présente de nombreux avantages relativement à un laser à cristal, par exemple Nd : YAG, pompé par une lampe flash. En effet, l'utilisation d'une telle lampe flash engendre des variations d'une impulsion à l'autre, notamment une fluctuation d'intensité des impulsions fournies, une variation dans la durée du tran montant de celles-ci. De plus, la stabilité du résonateur n'est pas très bonne, en particulier à cause de l'échauffement du milieu actif par la lampe flash qui présente un spectre d'émission relativement large. Le laser présente ainsi un rendement non optimal car une partie de l'énergie n'est pas utilisée pour la génération du faisceau laser. Ceci a également pour conséquence que le milieu actif est soumis à des contraintes thermiques qui diminuent la stabilité et la qualité d'émission des impulsions. Ceci a pour inconvénients majeurs de limiter la précision des trous à usiner et d'empêcher une bonne reproductibilité d'un trou à l'autre. Ainsi, la géométrie des trous effectués par des lasers pompés à l'aide d'une lampe flash présente de mauvaises tolérances d'usinage et ne permet pas de déterminer précisément le débit d'un fluide au travers de ces trous.

Toutefois, l'usinage de trous à l'aide d'un dispositif laser équipé d'un Q-switch fournissant des trains d'impulsions de très courte durée, dans le domaine des nanosecondes, pose un problème d'efficacité pour l'usinage des trous. En effet,

- 2 -

l'usinage de trous, en particulier d'une certaine profondeur, nécessite un grand nombre de telles impulsions successives, ce qui limite la vitesse d'usinage de tels trous et donc le rendement industriel d'un tel usinage. De plus, un tel dispositif laser est relativement peu flexible car il ne permet guère de varier précisément le profil des impulsions engendrées par le résonateur de manière à obtenir des impulsions avec un profil d'intensité adapté à l'usinage de chaque type de trous différents. La géométrie des trous usinés est donc difficilement variable dû au manque de souplesse dans le réglage des paramètres définissant les très courtes impulsions engendrées par le résonateur. Ensuite, des impulsions dans le domaine des nanosecondes ne permettent pas d'usiner des trous d'un diamètre relativement grand sans avoir recours à un procédé d'usinage nécessitant plusieurs perçages le long d'un tracé circulaire. Finalement, la fréquence du Q-Switch est limitée à cause de la formation d'un plasma durant une courte période, ce plasma absorbant l'énergie lumineuse d'une impulsion suivante s'il est encore présent au-dessus de la région d'usinage d'un trou.

Le but de la présente invention est de fournir un dispositif laser pour percer des trous dans des composants de dispositifs d'injection de fluides, notamment de carburant qui présente une bonne stabilité de fonctionnement, une grande précision d'usinage de trous et qui permet d'usiner ces trous à relativement haute vitesse pour obtenir un haut rendement industriel.

Un autre but de l'invention est de fournir un tel dispositif qui limite les coûts d'investissement nécessaire tout en conservant son efficacité.

A cet effet, l'invention concerne un dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion, ce dispositif d'usinage comprenant un résonateur laser formé d'un premier milieu actif solide et de premiers moyens de pompage optique, ces premiers moyens de pompage étant formés par des diodes laser. Ledit résonateur est agencé pour engendrer des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Ce dispositif d'usinage laser comprend des moyens de modulation agencés en aval dudit résonateur et fournissant en sortie un train d'impulsions secondaires pour chaque impulsion primaire entrant dans ceux-ci.

Grâce aux caractéristiques du dispositif d'usinage laser selon l'invention, il est possible de percer des trous de manière efficace avec une grande précision, c'est-à-dire avec des tolérances d'usinage faibles, dans des composants d'un dispositif d'injection de carburant, par exemple dans une buse d'injection ou dans un orifice d'étranglement servant à déterminer le débit d'un fluide. Ce dispositif permet d'engendrer des impulsions primaires de durée relativement longues, en particulier supérieur à 50µs. On a observé qu'un train d'impulsions présentant chacune une

relativement courte durée, par exemple entre 1 et 20 μ s, augmente le rendement et la précision du perçage au moyen d'un dispositif laser. Toutefois, cette efficacité diminue avec des impulsions périodiques dans le domaine des nanosecondes engendrées par un résonateur avec un Q-Switch. En effet, on a observé dans le cadre de la présente invention que le rendement d'usinage de matériaux durs est plus faible dans le domaine des nanosecondes que dans le domaine des microsecondes. Cependant, la précision d'usinage requière de ne pas trop augmenter l'énergie par impulsion. Le dispositif selon l'invention permet d'engendrer un tel train d'impulsions secondaires avec un profil d'intensité optimal grâce aux moyens de modulation prévus en aval d'un résonateur laser sans Q-Switch fournissant des impulsions primaires dont l'énergie est supérieure à celle d'une impulsion secondaire. Le dispositif laser est donc agencé pour fournir dans des périodes relativement courtes une assez grande quantité d'énergie permettant un usinage rapide de trous tout en modulant l'intensité lumineuse pour obtenir un perçage précis et propre. Un autre avantage des impulsions modulées est l'optimisation du procédé de perçage relativement à la dynamique du plasma engendré par les impulsions laser. Les impulsions primaires peuvent être fournies périodiquement pour l'usinage d'une pluralité de trous avec un rendement industriel élevé.

Les moyens de modulation sont par exemple formés par une cellule de Pockels. De telles cellules peuvent être commandées de manière précise et permettent également de faire varier le profil d'intensité du train d'impulsions secondaires fournis en sortie de la cellule pour optimiser l'efficacité du perçage des trous en fonction du matériau dans lequel ces trous sont effectués et également en fonction des paramètres géométriques définis pour ces trous.

On notera que la combinaison d'un résonateur pompé par diodes lasers et fournissant des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes, en particulier de l'ordre des dizaines ou centaines de microsecondes, avec des moyens de modulation de ces impulsions primaires permettant de varier la distribution temporelle de l'énergie en formant une pluralité d'impulsions de périodes plus courtes constitue une solution particulièrement efficace, car elle cumule les avantages de rendement et de stabilité pour le résonateur avec la flexibilité dans la génération de la distribution d'énergie arrivant sur le matériau usiné et ainsi la précision du perçage effectué. Il résulte donc des caractéristiques de l'invention que le dispositif d'usinage laser permet d'usiner des trous de manière reproductible avec de faibles tolérances. Le dispositif selon l'invention est ainsi particulièrement bien adapté au perçage de trous ou orifices d'étranglement dans les composants d'un dispositif ou système d'injection d'un fluide, en particulier d'un carburant.

- 4 -

Le dispositif d'usinage laser selon l'invention sera décrit ci-après plus en détail à l'aide du dessin annexé, donné à titre d'exemple non limitatif, dans lequel :

- la figure 1 représente de manière schématique les éléments principaux d'un mode de réalisation préféré de l'invention;
- 5 - la figure 2 montre les divers éléments d'un premier mode de réalisation du résonateur du dispositif de la figure 1;
- la figure 3 montre la transformation du faisceau laser par les moyens de modulation du dispositif de la figure 1;
- la figure 4 montre un deuxième mode de réalisation du résonateur du
- 10 dispositif de la figure 1, et
- la figure 5 représente schématiquement un mode particulier d'agencement des moyens d'amplification du dispositif de la figure 1.

A l'aide des figures 1 à 3, on décrira ci-après un premier mode de réalisation de l'invention. Ce dispositif comprend un résonateur 4 fournissant un faisceau laser 6
15 présentant une polarisation linéaire. Ce faisceau 6 est formé d'une succession d'impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Il est fourni à des moyens de modulation 8 agencés pour moduler le faisceau laser entrant de manière à varier la distribution d'intensité de ce faisceau, c'est-à-dire de varier le profil de
20 puissance de ce dernier de manière à former des trains d'impulsions secondaires de durée inférieure aux impulsions primaires fournies par le résonateur 4. Par impulsions dans le domaine des microsecondes, on comprend des impulsions dont la durée est supérieure à 1µs, en particulier entre 50µs et 1 milliseconde.

Dans une variante préférée de l'invention, le dispositif d'usinage laser est agencé de manière à ce que les impulsions primaires engendrées par le résonateur 4
25 permettent chacune d'effectuer un trou dans le composant usiné. Ceci permet d'obtenir un haut rendement industriel dans la fabrication des composants d'un dispositif d'injection, sans nuire à la précision d'usinage et à la qualité des trous effectués grâce aux moyens de modulation 8, en particulier formés d'une cellule de Pockels. De plus cette solution permet d'obtenir un très bon rendement énergétique
30 pour un milieu actif formé d'un cristal du type Nd : YAG pompé optiquement par des diodes laser (DPSSL). La combinaison d'un tel résonateur avec les moyens de modulation agencés en aval permet toutefois d'obtenir des trains d'impulsions secondaires de durée inférieure, en particulier entre 1 et 20µs comme cela est représenté à la figure 3. A titre d'exemple, les impulsions primaires 10 fournies par le
35 résonateur ont une durée entre 50µs et 1ms. La cellule de Pockels 8 module l'impulsion primaire 10 et fournit en sortie un train d'impulsions secondaires 12 ayant chacune une durée comprise entre 1 et 20µs. On notera que la cellule de Pockels

peut être commandée de manière à définir précisément un profil de puissance optimal pour l'application sélectionnée. Ainsi, la modulation en puissance n'est pas nécessairement binaire, mais peut varier entre un minimum non nul et un maximum donné.

- 5 Le faisceau laser 16 sortant du modulateur 8 reste polarisée linéairement. Ce faisceau 16 entre ensuite dans une diode optique 18 formée par exemple par un polariseur linéaire et par une lame quart-d'ondes agencée à la suite de ce polariseur. Le faisceau laser 20 sortant de cette diode optique présente une polarisation circulaire. Le faisceau 20 entre ensuite dans un amplificateur 22 agencé pour amplifier les trains d'impulsions secondaires 12. Généralement, cet amplificateur est formé par un milieu actif solide pompé optiquement.

- Avantageusement il est possible de commander les moyens d'amplification de manière à varier l'amplitude des impulsions secondaires, au sein d'un même train d'impulsions secondaires, par décalage temporel de l'impulsion engendrée dans ces moyens d'amplification relativement à l'enveloppe de l'impulsion primaire arrivant dans ces moyens d'amplification. On utilise ainsi le flanc montant ou le flanc descendant de l'impulsion d'amplification pour moduler en amplitude les impulsions secondaires.

- La diode optique 18 sert principalement à protéger le résonateur 4 contre des réflexions au niveau de l'amplificateur 22 et également de la tête d'usinage 24 suivant cet amplificateur. Le faisceau laser 26 sortant de l'amplificateur 22 est toujours polarisé circulairement, tout comme le faisceau 28 sortant de la tête d'usinage 24.

La tête d'usinage comprend des moyens de focalisation et peut également comprendre un expanseur de faisceaux précédant les moyens de focalisation.

- On remarquera que l'agencement d'une diode optique dans le dispositif de la figure 1 permet d'augmenter l'efficacité de ce dispositif et en particulier d'augmenter la qualité du faisceau laser fourni. De plus, cette diode optique permet d'assurer la stabilité du résonateur en évitant des perturbations et/ou interférences dans la cavité résonante. Ceci permet donc d'assurer une bonne reproductibilité d'une impulsion primaire à l'autre et donc d'une bonne reproductibilité des trains d'impulsions fournis par le dispositif en sortie de la tête d'usinage 24.

- Le résonateur 4 est montré plus en détail à la figure 2. Il comprend de manière classique un laser de positionnement 32 permettant d'ajuster la position des éléments de la cavité résonante et également d'orienter correctement la pièce à usiner relativement au faisceau laser. Ensuite, il comprend de manière classique un miroir 34 et un miroir partiellement réfléchissant 36. Il comprend aussi un séparateur de faisceaux 38 permettant de mesurer l'énergie du faisceau à l'aide des moyens de mesure 40. Il comprend également un obturateur de sécurité 42 et finalement un

5 expenseur 44 permettant d'augmenter le diamètre du faisceau laser engendré. Dans le mode de réalisation de la figure 2, le résonateur 4 comprend en outre un polariseur linéaire 46 et un diaphragme 48. Ce résonateur comprend une cavité 52 formé d'un milieu actif solide en cristal Nd : YAG. Dans le cas de la présente invention, ce milieu actif est pompé optiquement par des diodes laser agencées de manière connues de l'homme du métier, notamment sous forme de barre ou de matrice de diodes.

10 Comme mentionné précédemment, le dispositif d'usinage laser selon l'invention permet d'obtenir un faisceau de bonne qualité, propre à un usinage précis de trous dans divers composants, en particulier des composants d'un dispositif d'injection de fluide. Par ceci, on comprend notamment un faisceau qui soit bien circulaire, qui présente une distribution d'intensité sensiblement constante et qui puisse être focalisé précisément avec un diamètre au point focal relativement petit. Ce dispositif a également une très bonne stabilité. Cette stabilité se caractérise notamment par une faible fluctuation de la puissance moyenne fournie, par une faible variation de la puissance des impulsions primaires engendrées par le résonateur et finalement par une faible variation de la puissance du train d'impulsions secondaires fournies par le dispositif laser, ainsi que par une faible variation de la distribution en intensité de ces trains d'impulsions secondaires.

20 Le dispositif de l'invention permet d'engendrer des impulsions laser avec une variation en énergie inférieure à 1%. Ceci permet d'avoir une petite tolérance d'usinage relative à la surface des ouvertures définies par les trous et donc d'obtenir une faible variation de débit d'un fluide au travers de ceux-ci.

25 Les impulsions dans le domaine des microsecondes engendrées par le résonateur sont engendrées par exemple avec une fréquence variant entre 1Hz et 1kHz. La durée de chacune de ces impulsions varie par exemple entre 10 microsecondes (μ s) et quelques millisecondes (ms) alors que la durée des impulsions secondaires à la sortie du modulateur peut varier notamment entre 1 et 50 μ s. A l'aide de moyens d'amplification adéquats qui seront notamment décrits ci-après, la puissance de pointe des impulsions fournies peut par exemple être comprise entre 30 100W et 100kW. Le diamètre du faisceau laser avant l'optique de focalisation est typiquement inférieur à 50 mm. Etant donné la qualité du faisceau laser obtenu, il est possible de le focaliser précisément et de régler la distance du point focal relativement aux composants à usiner de manière très précise, notamment avec une tolérance inférieure à 50 μ m. On notera que le réglage précis de cette distance permet de définir 35 aussi le profil du trou usiné selon sa section longitudinale.

Le dispositif selon l'invention permet d'usiner notamment des trous d'un diamètre compris entre 5 μ m et 1mm. La précision d'usinage est relativement élevée,

c'est-à-dire que des trous identiques peuvent être usinés successivement de manière reproductible et avec de faibles tolérances. On obtient une tolérance sur la conicité du trou inférieure à 5 % du diamètre de ce trou. La déformation du profil circulaire du trou est inférieure à 5 % du diamètre. La reproductibilité d'un trou prédéfini à l'autre peut être largement inférieure à 5 %, notamment inférieure à 2 %. Ces très bonnes tolérances résultent en particulier de l'utilisation d'un résonateur formé d'un milieu actif solide pompé par diodes laser et agencé pour fournir des impulsions primaires d'une durée relativement longue, lesquelles sont ensuite modulées par des moyens de modulation, en particulier une cellule Pockels, pour fournir des trains d'impulsions secondaires dont la distribution en intensité peut être adaptée de manière optimale en fonction de la dynamique du perçage et en particulier du matériau dans lequel le trou est effectué, ainsi que des dimensions de ce dernier.

A la figure 4 est représenté un deuxième mode de réalisation du résonateur agencé dans le dispositif d'usinage laser de l'invention. Les éléments déjà mentionnés précédemment ne seront pas décrits à nouveau en détail. Ce résonateur se distingue essentiellement de celui de la figure 2 par le fait que l'oscillateur est formé par un cristal de Nd : YVO₄. Ce cristal présente la particularité de fournir directement un faisceau laser polarisé linéairement de sorte que l'intégration d'un polariseur dans le résonateur est superflu. Ceci permet, pour une certaine puissance de pompage optique, d'obtenir un faisceau laser ayant une intensité bien supérieure à celle fournie par le résonateur de la figure 2 étant donné que l'intégration du polariseur diminue sensiblement de moitié l'intensité lumineuse fournie. L'utilisation d'un tel cristal est connu pour des résonateurs avec un Q-switch fournissant des impulsions de durée très courte, mais n'a pas été proposé par l'homme du métier dans un résonateur agencé pour fournir des impulsions relativement longues, sans l'intégration d'un Q-switch. L'utilisation d'un tel cristal est de fait particulièrement adaptée au dispositif selon l'invention étant donné que les moyens de modulation décrits ci-avant nécessitent généralement une polarisation linéaire du faisceau laser entrant. On notera que l'homme du métier connaît d'autres cristaux ayant une même propriété.

Concernant la polarisation, on notera encore que l'agencement des divers éléments prévus dans le dispositif représenté à la figure 1 permet d'obtenir en sortie de la tête d'usinage un faisceau laser polarisé circulairement, ce qui est particulièrement adapté pour l'usinage de trous.

Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, il est prévu que les moyens d'amplification décrits précédemment soient formés d'au moins deux milieux actifs comme représentés schématiquement à la figure 5. Sur cette figure, les

- 8 -

moyens d'amplification 60 des impulsions laser sont formés de deux cavités 62 et 64 comprenant chacune un milieu actif solide 66, respectivement 68 pompés optiquement par des lampes flash 70.

- 5 L'utilisation de lampes flash dans les moyens d'amplification constituent un mode de réalisation particulier de la présente invention, également dans le cas où les moyens d'amplification 22 comprennent une seule cavité. La raison principale de l'agencement d'une lampe flash dans les moyens d'amplification est actuellement économique. En effet, l'utilisation de matrice de diodes laser reste relativement onéreuse. Dans le cas de la présente invention, on a observé que l'utilisation de
- 10 lampes flash dans les moyens d'amplification avaient une influence relativement peu néfaste sur la qualité du faisceau laser et sur la stabilité du dispositif d'usinage laser. En effet, l'utilisation de lampes flash dans les moyens d'amplification est bien moins critique que pour le résonateur dans lequel les impulsions laser sont engendrées.

- 15 Finalement, on notera que l'homme du métier peut prévoir divers arrangements pour les moyens d'amplification permettant d'obtenir plusieurs niveaux d'amplification pour le faisceau laser. Associé à d'autres éléments optiques, il est possible d'envisager des réalisations où le faisceau laser passe au moins deux fois dans chaque cavité. En outre, il est à noter que dans le cadre de la présente invention telle que revendiquée, le milieu optique de l'amplificateur peut aussi être pompé par
- 20 des diodes laser.

REVENDECATIONS

1. Dispositif d'usinage laser pour percer des trous dans des composants de dispositifs d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion, ce dispositif d'usinage comprenant un résonateur laser (4, 50) formé d'un premier milieu actif solide et de premiers moyens de pompage optiques, ces premiers
5 moyens de pompage optiques étant formés par des diodes laser, caractérisé en ce que :
- ledit résonateur est agencé pour engendrer des impulsions primaires ayant une durée dans le domaine des microsecondes ou supérieures;
 - le dispositif d'usinage comprend en outre des moyens de modulation (8)
- 10 agencés entre ledit résonateur (4) et une tête d'usinage (24), ces moyens de modulation étant commandés pour fournir en sortie un train d'impulsions secondaires (12) pour chaque impulsion primaire (10) entrant dans ceux-ci.
2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend une diode optique (18) agencée en aval dudit résonateur.
- 15 3. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'amplification des impulsions fournies par ledit résonateur.
4. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens d'amplification des impulsions laser fournies par ledit résonateur, ces moyens d'amplification (22) étant agencés en aval de ladite diode optique (18).
- 20 5. Dispositif selon la revendication 2 ou 4, caractérisé en ce que ladite diode optique est formée par un polariseur linéaire et par une lame quart d'ondes agencée à la suite de ce polariseur.
6. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification sont commandés de manière à fournir des impulsions
25 d'amplification décalées temporellement relativement aux impulsions primaires pour moduler en amplitude lesdites impulsions secondaires.
7. Dispositif selon la revendication 3 ou 4, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification comprennent une cavité formée par un deuxième milieu actif solide et par des deuxième moyens de pompage optique formés par une lampe
30 flash.
8. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdits moyens d'amplification comprennent plusieurs milieux actifs définissant plusieurs niveaux d'amplification, chacun de ces milieux actifs étant pompé par une lampe flash.

- 10 -

9. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit résonateur est agencé pour fournir à sa sortie un faisceau laser polarisé linéairement.

10. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que ledit premier milieu actif est formé par un cristal sélectionné parmi les cristaux engendrant eux-mêmes directement une lumière polarisée linéairement, en particulier un cristal de Nd : YVO₄.

11. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est agencé pour fournir des impulsions dans le domaine des microsecondes dont l'énergie permet le percement d'un trou prévu dans un composant donné par une seule impulsion primaire engendrée par ledit résonateur.

ABREGE

**DISPOSITIF LASER POUR PERCER DES TROUS DANS DES
COMPOSANTS D'UN DISPOSITIF D'INJECTION D'UN FLUIDE**

5 Le dispositif d'usinage laser est prévu pour percer des trous dans des composants d'un dispositif d'injection d'un fluide, notamment d'un carburant dans un moteur à combustion. Le résonateur laser (4) est formé par un milieu actif solide pompé optiquement au moyen de diodes laser. Le résonateur est agencé pour fournir des impulsions primaires dans le domaine des microsecondes. Entre le résonateur et une tête d'usinage (24) sont agencés des moyens de modulation (8) permettant de moduler l'amplitude des impulsions primaires fournies par le résonateur, de manière à obtenir pour chacune de ces impulsions un train d'impulsions secondaires de durée inférieure.

10

Figure 1

1/2

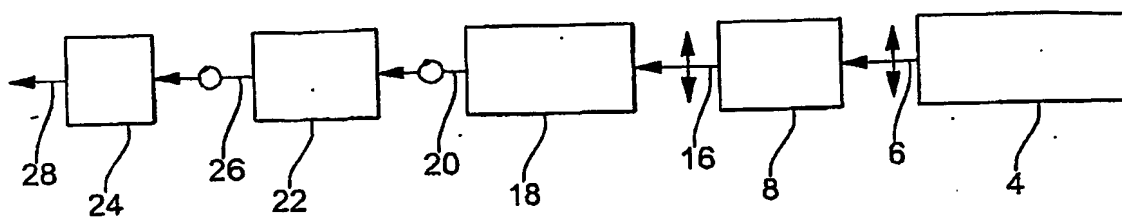


Fig.1

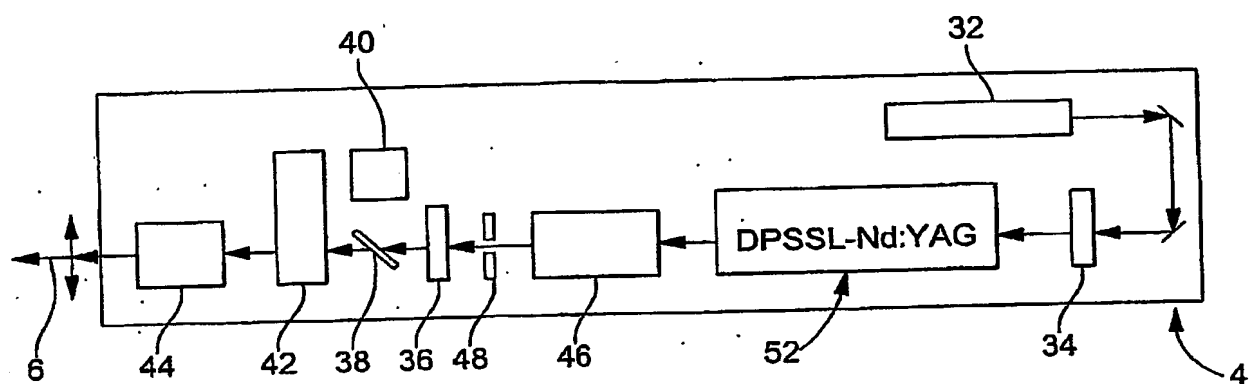


Fig.2

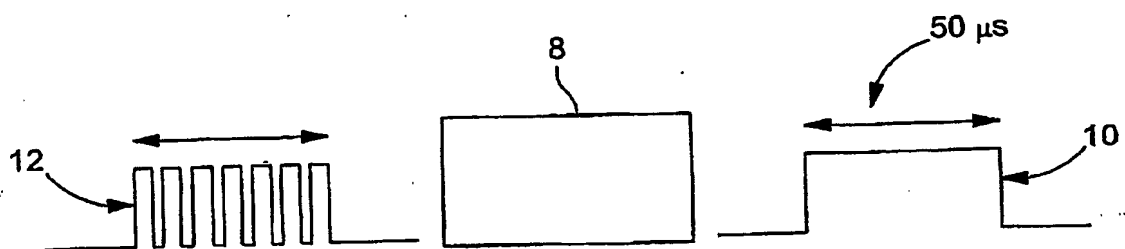


Fig.3

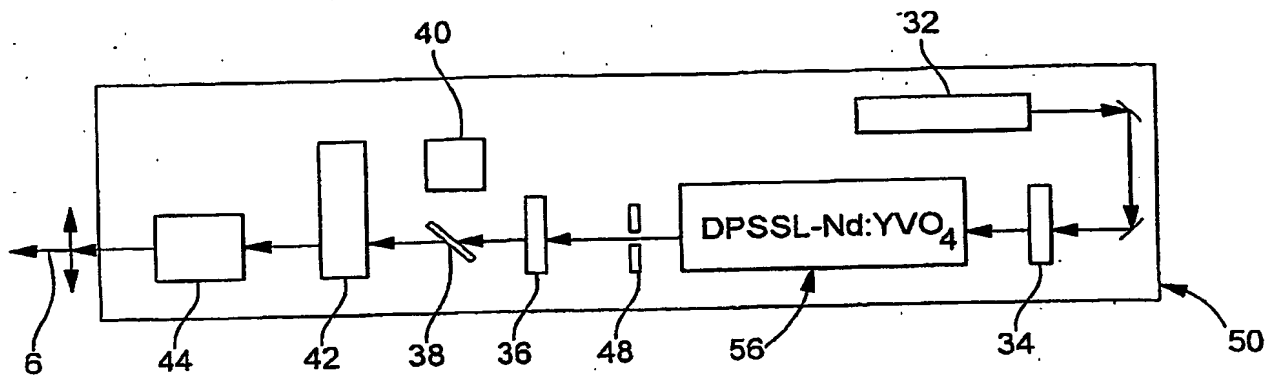


Fig.4

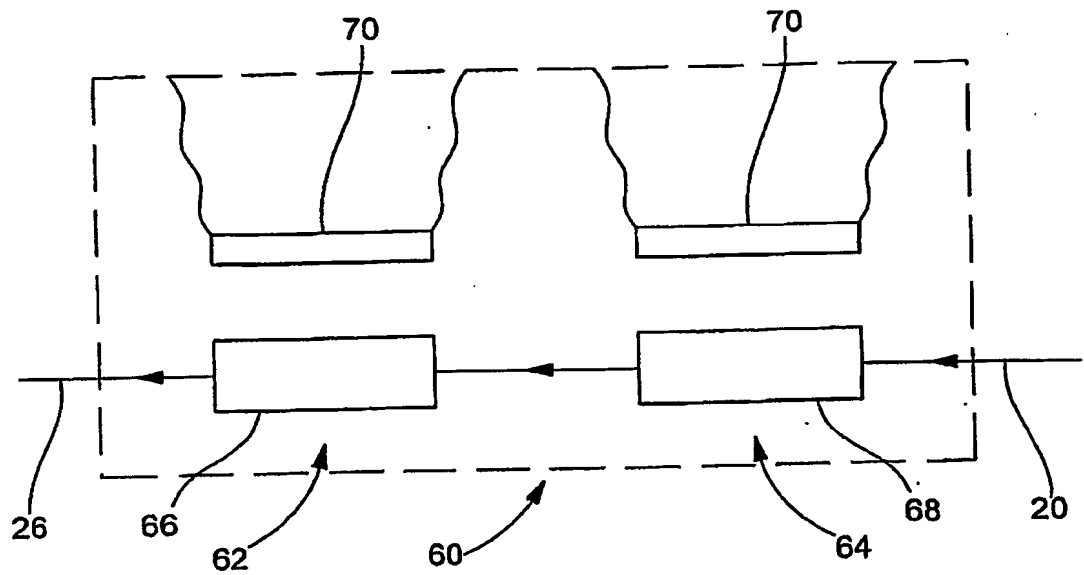


Fig.5

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☐ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.